

doi:10.15199/48.2023.02.54

Analiza rozkładu pola magnetycznego generowanego w samochodach elektrycznych i hybrydowych

Streszczenie. Udział samochodów elektrycznych w rynku pojazdów ciągle wzrasta, a celem ustawodawców w Europie jest likwidacja samochodów spalinowych. Eksploatacja samochodów elektrycznych wiąże się z emisją pola elektromagnetycznego zarówno w ich wnętrzu jak i na zewnątrz pojazdu. Zmierzono i poddano analizie samochody elektryczne klasy Premium i porównano z wynikami dla samochodu hybrydowego. Opisano zastosowaną metodykę pomiarów pozwalającą na badania porównawcze pojazdów elektrycznych.

Abstract. The share of electric cars in the vehicle market is constantly increasing, and the goal of legislators in Europe is to eliminate internal combustion cars. The operation of electric cars involves the emission of an electromagnetic field both inside and outside the vehicle. Premium electric cars were measured and analyzed and compared with the results for the hybrid car. The applied measurement methodology allowing for comparative tests of electric vehicles is described. **(Analysis of the generated magnetic field distribution in electric and hybrid cars)**

Słowa kluczowe: Samochód elektryczny, samochód hybrydowy, pole elektromagnetyczne
Keywords: Electric car, hybrid car, electromagnetic field

Wstęp

Ostatnie lata to czasy ciągłych zmian, udoskonaleń oraz postępu technologicznego. Wiąże się z tym duże zmiany w otaczającym nas świecie. Człowiek w ostatnim czasie wywiera coraz większy wpływ na środowisko, w którym żyje. Potrzeba ciągłych udoskonaleń bardzo często ma wpływ na środowisko naturalne i niejednokrotnie powoduje nieodwracalne w nim zmiany. Wiek XXI to wiek, w którym społeczeństwo zdało sobie sprawę, że należy zwrócić większą uwagę na konsekwencje ekologiczne swoich działań. Miliony ton substancji toksycznych, w tym spalin, trafiają codziennie do atmosfery jako wynik korzystania ze środków transportu takich jak autobusy, samochody czy samoloty. Świadomość konieczności ograniczenia tego szkodliwego oddziaływania środków transportu na środowisko spowodowała wprowadzenie środków transportu o napędzie elektrycznym, które nie powinny mieć tak niszczącego wpływu na środowisko jak pojazdy spalinowe.

powoduje ekspozycję na pola elektromagnetyczne. Napęd pojazdu elektrycznego jest systemem elektrycznym, który wymaga dostarczania dużej mocy, a w konsekwencji powoduje przepływy prądów o dużych wartościach.

Współczesne samochody elektryczne są zasilane akumulatorami napięciu do około 1 kV. Efektem tego jest przepływ prądów o natężeniu rzędu setek amperów. Są to znaczne wartości, które generują dość silne pole magnetyczne, dużo większe niż inne urządzenia elektryczne powszechnego użytku. Jak już wspomniano, kierowca oraz pasażerowie znajdują się blisko źródeł pola elektromagnetycznego. Szczególnie podczas przyspieszenia oraz hamowania (kiedy dochodzi do rekuperacji energii) w instalacji pojazdu płyną prądy o wartości setek amperów [1,2]. Jednocześnie należy zauważyć, że w pojazdach o napędzie elektrycznym pola elektromagnetyczne emitowane są przez szereg urządzeń elektrycznych będących na wyposażeniu tego typu pojazdów (Rys.1). Pola elektromagnetyczne generowane w pojeździe nie powinny mieć wpływu np. na struktury DNA organizmów żywych pozostających pod ich zasięgiem, ale nie są im obojętne. Badania prowadzone nad długotrwałym wpływem oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizmy są prowadzone od lat, jednak ich wpływ na materiężywioną nie został jak dotąd dostatecznie wyjaśniony [2]. Dlatego celowe jest testowanie pojazdów elektrycznych pod kątem emisji pól elektromagnetycznych.

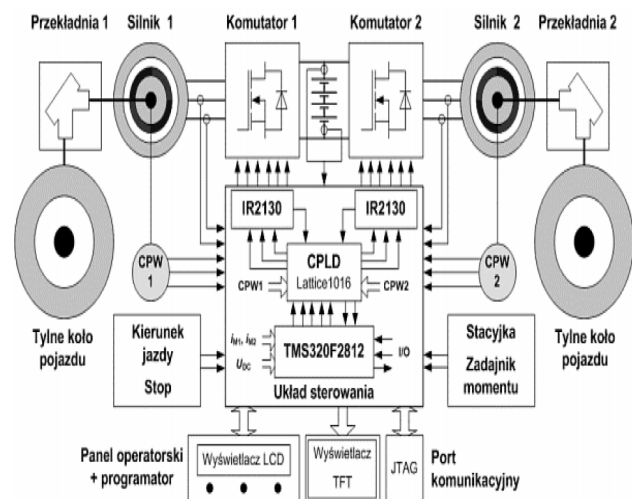
Materiały i metody

Badane pojazdy

W badaniu, mierzono pola magnetyczne w trzech pojazdach elektrycznych i dodatkowo w samochodzie o napędzie hybrydowym (Toyota RAV4). Dane techniczne pojazdów elektrycznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne pojazdów elektrycznych użytych w badaniach

Model pojazdu	Przyspieszenie do 100km/h	Moc (KM)	Napęd	Pojemność akumulatorów w	Napięcie systemu
Porsche Taycan Turbo S	2,8s	761	4x4	93,4 kWh	800V
Tesla Model S	3,1s	691	4x4	85 kWh	375V
Audi E-tron	5,7s	408	4x4	95,0kWh	396V



Rys. 1. Schemat blokowy układu napędowego pojazdu elektrycznego [3]

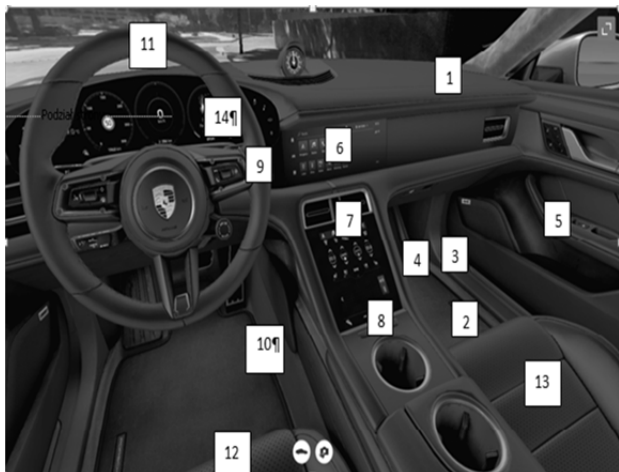
Powstaje pytanie, jaki wpływ ma poruszanie się samochodem elektrycznym na ludzi w nim przebywających. Kierowca oraz pasażerowie takiego pojazdu przebywają bardzo blisko układu elektrycznego o dużej mocy, co

Pojazdy badano w trzech trybach pracy:

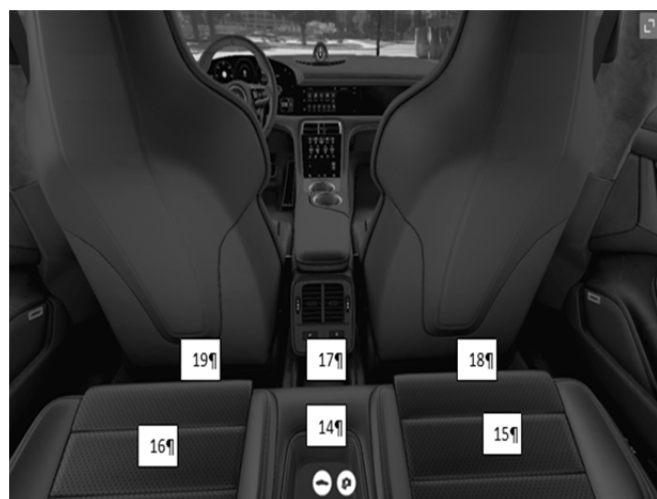
- W czasie postoju, przy włączonym układzie zasilania
- Podczas jazdy ze stałą prędkością 60 km/h
- Podczas przyspieszania oraz hamowania z prędkości 60 km/h

Pomiar pola magnetycznego

Pomiar pola magnetycznego wykonano z użyciem przyrządu pomiarowego firmy Mikrorad NHT 310 wyposażonego w sondę pomiarową Probe 10B. Pole było identyfikowane w przedziale częstotliwości od 5Hz do 400 kHz.



Rys. 2. Punkty pomiarowe w przedniej części mierzonych pojazdów



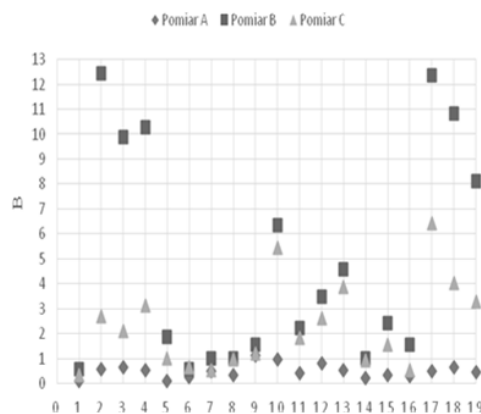
Rys. 3. Punkty pomiarowe w tylnej części mierzonych pojazdów
Rozmieszczenie punktów pomiarowych zilustrowano na rysunkach 2 oraz 3.

Wyniki

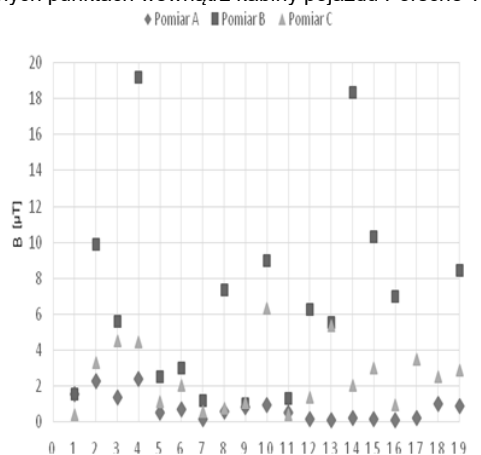
Porsche Taycan

Pierwsze pomiary zostały przeprowadzone w samochodzie elektrycznym Taycan Turbo S produkcji Porsche. Jest to pierwszy model samochodu elektrycznego tego niemieckiego przedsiębiorstwa. Samochód wyposażony jest w dwa silniki synchroniczne z magnesami trwałymi zlokalizowane z przodu oraz z tyłu samochodu. Wyniki pomiarów zilustrowano na rysunku 4.

Pomiary były wykonywane po włączeniu silnika. Pomiar A oznacza pomiar podczas postoju samochodu przy włączonym silniku, pomiar B – podczas gwałtownych przyspieszeń/hamowań samochodu, pomiar C – podczas spokojnej jazdy po mieście.



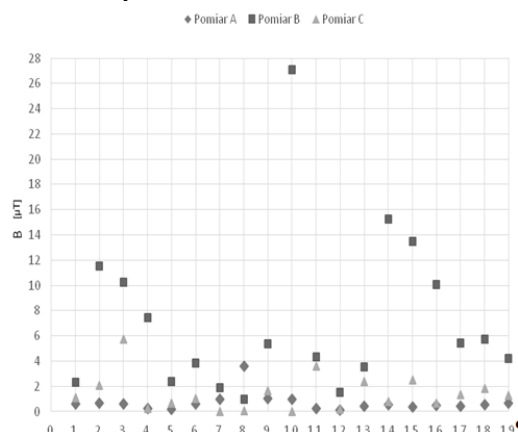
Rys. 4. Wartości indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu Porsche Taycan



Rys. 5. Wartości indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu Tesla Model S

Tesla Model S

Kolejnym samochodem o napędzie elektrycznym, w którym zmierzono wartości pola magnetycznego, był samochód amerykańskiego producenta samochodów Badany – model podobnie jak poprzednio badany pojazd posiada dwa silniki elektryczne zlokalizowane w okolicy przednich oraz tylnych siedzeń. Wyniki pomiarów zilustrowano na rysunku 5.



Rys. 6. Wartości indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu Audi e-tron

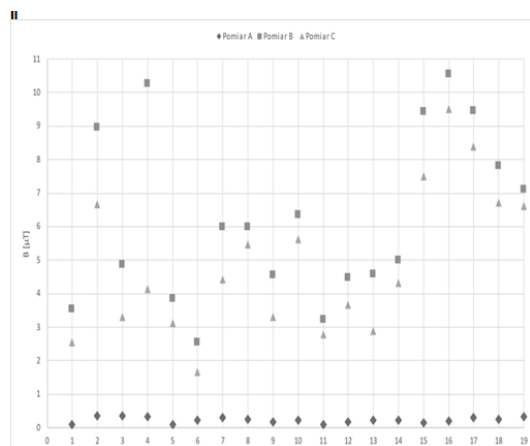
Audi e-tron

Trzecim samochodem, wewnątrz którego przeprowadzono pomiary pola był Audi e-tron. Suv niemieckiego producenta posiada napęd 4x4. Pojazd, posiada najmniejszą moc napędową spośród badanych aut.

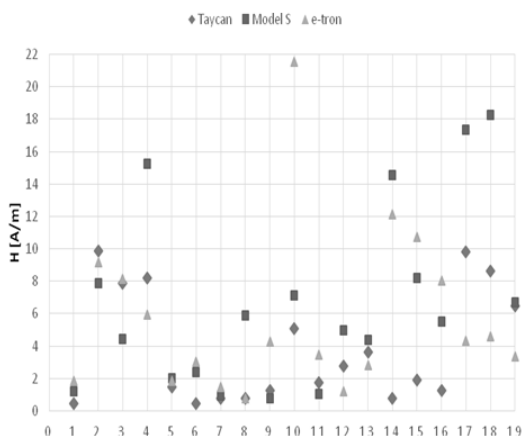
Tak samo jak w przypadku poprzednich elektryków posiada on 2 silniki zlokalizowane z przodu oraz z tyłu podwozia. Wyniki pomiarów zilustrowano na rysunku 6

Toyota RAV4

Czwartym samochodem, wewnątrz którego dokonano pomiarów pola magnetycznego, była Toyota RAV4. Samochód ten posiada napęd hybrydowy 4x4 z elektrycznym napędem z synchronicznymi silnikami z magnesami trwałymi. Łączna moc układu hybrydowego tego samochodu wynosi 163kW. Wyniki pomiarów zilustrowano na rysunku 7.



Rys. 7. Wartości indukcji magnetycznej pola elektromagnetycznego w badanych punktach wewnątrz kabiny pojazdu Toyota RAV4



Rys. 8 Porównanie wartości natężenia składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego trzech badanych modeli samochodów elektrycznych generowanej podczas stanów dynamicznych samochodu

Dyskusja

Dla trzech badanych modeli samochodów elektrycznych: Porsche Taycan, Tesla Model S oraz Audi e-tron porównano, zmierzone podczas stanów dynamicznych, najwyższe wartości natężenia składowej magnetycznej. Wyniki zostały przedstawione na rysunku 8.

Analizując rysunek 8 można zauważyć, że największe wartości natężenia pola magnetycznego generował samochód Model S produkcji Tesli. Powodów takiej sytuacji może być kilka, jednak prawdopodobną przyczyną jest wiek samochodu oraz stopień jego zużycia. Audi oraz Porsche były samochodami testowanymi w salonach, których przebiegi zamykały się w granicach do 100km. Natomiast Tesla Model S był samochodem prywatnym, którego przebieg był nieco większy. Wpływ stopnia zużycia samochodu elektrycznego na zwiększenie oddziaływania

pola elektromagnetycznego zbadano w pozycji oznaczonej numerem 4 w bibliografii, gdzie wykazano, że przebieg i kilkuletnie użytkowanie samochodu może, ale niekoniecznie musi mieć wpływ na wcześniej wspomniany wynik pomiaru.

Wnioski

1. Samochody elektryczne w trakcie jazdy są źródłem pola elektromagnetycznego.

W badanych przypadkach wszystkie wartości były porównywalne do wartości składowej magnetycznej generowanej przez linie najwyższych napięć

2. Największe rejestrowane wartości pojawiały się podczas hamowania oraz przyspieszania pojazdu. Podczas badań największą zmierzoną wartością natężenia pola magnetycznego była wartość 21,55 A/m w samochodzie e-tron produkcji Audi. Wartości te zostały zmierzone przy niepełnym obciążeniu (brak możliwości pełnego obciążenia samochodów podczas prowadzonych pomiarów.)

3. Składowa magnetyczna pola elektromagnetycznego we wszystkich badanych samochodach nie przekroczyła dopuszczalnej wartości określonej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów ich ograniczania, która wynosi 60 A/m [5],

4. Zmierzone wartości pól magnetycznych są znacznie niższe od poziomów referencyjnych ICNIRP z 1998 r. dla narażenia ogółu społeczeństwa [16].

5. W obu typach badanych pojazdów zarówno o napędzie czysto elektrycznym jak i hybrydowym zarejestrowano wartości pól magnetycznych porównywalne z wartościami opisywanymi w literaturze [2,3,6-15].

5. Zarejestrowane wartości nie powinny mieć wpływu na poprawne działanie niektórych stymulatorów serca.

6. Oddziaływanie pola elektromagnetycznego występującego w pojazdach elektrycznych można zminimalizować poprzez:

- zorientowanie urządzeń zasilających urządzeń elektrycznych tak, aby zminimalizować pole magnetyczne, na które narażeni są pasażerowie,
- zniwelowanie pola magnetycznego wytwarzanego przez przewody dzięki odpowiedniemu ich ułożeniu (kompensacja pola magnetycznego),
- zastosowanie możliwie jak najkrótszych przewodów zasilających w układzie napędowym,
- zastosowanie ekranowania niektórych części pojazdów.

Autorzy: Ewelina Świąś Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, ul. Janiszewskiego 8, 50-377 Wrocław, E-mail: ewelina.swias@pwr.edu.pl, dr hab. Dariusz Szafrowski, Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, ul. Janiszewskiego 8, 50-377 Wrocław, E-mail: dariusz.szafrowski@pwr.edu.pl; Adam Komarnicki E-mail: 'adam.komarnicki@onet.pl.

LITERATURA

- [1] Trentadue, G., Zanni, M. and Martini, G., Assessment of low frequency magnetic fields in electrified vehicles, EUR 30198 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-79-18458-4, doi:10.2760/056116, JRC120312.
- [2] Moreno-Torres P., Lafoz M., Blanco M., Arribas J. Passenger exposure to magnetic fields in electric vehicles INTECH, 2016
- [3] Larsson J. Electromagnetics from a quasistatic perspective. American Journal of Physics, Vol 75, Issue 1, pp 35-43, 2015
- [4] Hristov R., Stefanov S., Kostov P. Investigation of the electromagnetic field in electric and hybrid cars, Faculty of Mechanical Engineering and Technologies, Technical University of Varna, 1 Studentska Street, Varna 2010, Bulgaria
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, 30 października, 2003

- [6] Gumiela J., Sztafrowski D., Sitnik L. Pomiarowa identyfikacja emisji pola elektromagnetycznego przez samochód elektryczny, doi:10.15199/48.2019.12.27
- [7] Trentadue, G., Zanni, M. and Martini, G., Assessment of low frequency magnetic fields in electrified vehicles, EUR 30198 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-79-18458-4, doi:10.2760/056116, JRC120312
- [8] Moreno-Torres P., Lafoz M., Blanco M., Arribas J. Passenger exposure to magnetic fields in electric vehicles INTECH, 2016
- [9] Vassilev, Andrea, et al. Magnetic field exposure assessment in electric vehicles. IEEE transactions on electromagnetic compatibility, 2014, 57.1: 35-43.
- [10] Hareuveny, R., Sudan, M., Halgamuge, M. N., Yaffe, Y., Tzabari, Y., Namir, D., & Kheifets, L. (2015). Characterization of extremely low frequency magnetic fields from diesel, gasoline and hybrid cars under controlled conditions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(2), 1651-1666.
- [11] Silva, F., & Aragón, M. (2011, August). Electromagnetic interferences from electric/hybrid vehicles. In 2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium (pp. 1-4). IEEE.
- [12] Moreno-Torres, P. C., Lourd, J., Lafoz, M., & Arribas, J. R. (2012). Evaluation of the magnetic field generated by the inverter of an electric vehicle. IEEE Transactions on Magnetics, 49(2), 837-844
- [13] Karabetos, E., Kalampaliki, E., & Koutounidis, D. (2014). Testing hybrid technology cars: Static and extremely low-frequency magnetic field measurements. IEEE Vehicular Technology Magazine, 9(4), 34-39.
- [14] Moreno-Torres, P., Lafoz, M., Blanco, M., & Arribas, J. R. (2016). Passenger exposure to magnetic fields in electric vehicles. Modeling and simulation for electric vehicle applications, 47-71.
- [15] Tell, R. A., Sias, G., Smith, J., Sahl, J., & Kavet, R. (2013). ELF magnetic fields in electric and gasoline-powered vehicles. Bioelectromagnetics, 34(2), 156-161
- [16] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)" Health Phys., vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.